稀土对钢轨低温韧性的影响研究*

董 捷, 赵桂英, 薛虎东, 王嘉伟

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 在工业生产条件下, 研究了钢中加入稀土对钢轨低温冲击性能的影响。结果表明, 稀土处理的钢轨具有良好的低温韧性, 其 -40 ℃冲击值比不加稀土的试验钢高出1倍; 试验钢组织为珠光体和铁素体。稀土的加入可使夹杂物球化, 提高钢轨的塑性和韧性。

关键词: 稀土; 钢轨; 夹杂物; 低温冲击韧性

中图分类号: U213.4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)05-0064-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.019

Study on Effects of Rare Earth on Low Temperature Toughness of Rail

Dong Jie, Zhao Gui-ying, Xue Hu-dong, Wang Jia-wei

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Under the condition of commercial production, the effects of rare earth addition in steel on low temperature impact performance of rail are studied. The results showed that the rail treated with rare earth was with good low temperature toughness and its impact value at -40 ℃ was twice as high as that of experimental steel without rare earth; the microstructure of experimental steel was pearlite and ferrite. The inclusions could be spheroidized as well as the plasticity and toughness of rail could be improved by adding the rare earth.

Key words: rare earth; rail; inclusion; low temperature impact toughness

随着我国铁路运营里程的增加, 钢轨逐渐延伸铺设向极寒地区, 对钢轨的低温冲击韧性提出更高的要求。我国作为世界的铁路大国, 钢轨生产技术一直处于世界领先水平, 国内各大钢轨生产企业也开展了大量研究工作。

稀土具有净化钢质作用, 易与O、S等有害元素反应形成化合物, 并作为夹杂物从钢液排除, 稀土具有变性作用, 能够改变或影响杂质、夹杂物或有害相的存在状态、组成、结构、大小、分布等, 使得钢材性能得以提高[1]。稀土能够明显改善钢材冲击韧性、变形能力、耐腐蚀性、焊接性能、耐磨性、疲劳新能, 同时稀土夹杂物的热膨胀系数和钢材基体近似, 可以避免钢材热加工冷却时夹杂物周围产生的应力。充分利用稀土强化和提高钢轨综合性能, 在钢轨中加入微量稀土, 使钢轨能够应用于低温、潮湿等特殊环境[2]。本文主要就冶炼钢轨钢中加入微量稀土对钢轨低温韧性及钢中夹杂物的影响进行探讨。

1 试验材料与方法

试验钢为包钢生产的U71Mn钢轨, 生产工艺流程为: 铁水预处理→转炉冶炼→LF精炼→VD真空处理→连铸→加热→轧制→矫直→探伤→检查→加工

* **收稿日期**: 2019-09-27

作者简介: 董 捷(1987-), 女, 内蒙古包头市人, 工程师, 现从事钢轨产品研发工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

→入库。

将 U71Mn 钢轨成品取样锯切成坯料放入 100 kg 真空感应炉，加 0.04 kg 稀土合金，冶炼成钢锭后，轧制成 20 mm 钢板，开轧温度 1 080 ℃，终轧温度 930 ~ 945 ℃。轧后空冷，试验钢化学成分见表 1。

表 1　试验钢化学成分（质量分数）　%

炉次	C	Si	Mn	P	S	RE
1	0.72	0.36	1.01	0.014	0.006	
2	0.72	0.37	1.01	0.012	0.006	0.02

在钢板宽度 1/4 处切取 U 型冲击纵向试样，见图 1，试样尺寸 10 mm × 10 mm × 55 mm，开槽方向与轧制方向垂直。按标准要求，用摆锤冲击实验机做 4 组温度下的 U 型冲击试验，每组试验 3 个试样，测定其冲击吸收功。从钢板上切取金相试样，用 4% 硝酸酒精溶液侵蚀后观察金相组织，并用扫描电镜观察夹杂物形态，分析稀土元素对夹杂物的影响。

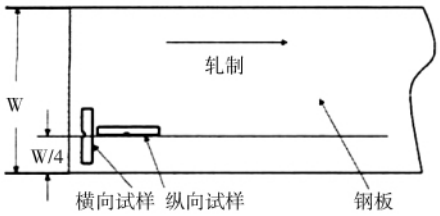


图 1　冲击试样取样示意图

2　试验结果

2.1　稀土对低温韧性的影响

各温度下平均冲击功见表 2。

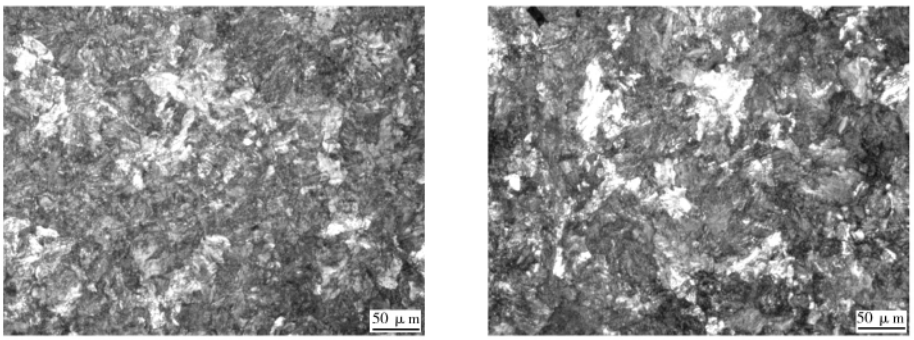
表 2　试验钢各温度下平均冲击功值　KU_2/J

炉次	20 ℃	0 ℃	−20 ℃	−40 ℃	备注
1	11.6	11.3	5.8	4.2	未加稀土
2	11.4	11.4	8.6	8.4	加稀土

由表 2 可以看出，室温下 0 ℃添加稀土的试验钢与未添加稀土的试验钢在冲击性能上并无明显差别，但是随着温度的降低，稀土对冲击功改善效果影响逐步显现，加稀土试验钢的冲击功性能明显高于不加稀土试验钢，特别是在 −40 ℃，加入稀土后冲击功的改善更加明显，与未加稀土试验钢相比，冲击性能提高了 1 倍，稀土对低温冲击韧性改善作用明显。

2.2　稀土对钢轨组织的影响

热轧态组织如图 2 所示，可以看出，钢轨组织为铁素体加珠光体，随着稀土含量的增加，钢的组织未发生变化。



（a）不加稀土实验钢　　（b）加稀土实验钢

图 2　热轧态组织

2.3　稀土对钢轨夹杂物的影响

图 3—5 给出了 1# 试验钢的夹杂物形貌，可以看出，未加稀土的试验钢存在着长条状或尖角状的 $SiO_2 - Al_2O_3$、$MgO - Al_2O_3$、$SiO_2 - MgO - Al_2O_3 - CaO$ 复合相夹杂物，这些夹杂物破坏了钢的连续性，由于夹杂物与基体的热膨胀系数和塑性能力不同，在夹杂物周围存在复杂的应力场[3]，当承受冲击载荷时，容易在夹杂物周围产生应力集中，在夹杂物与基体之间产生微裂纹，降低钢材的韧性[4]。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

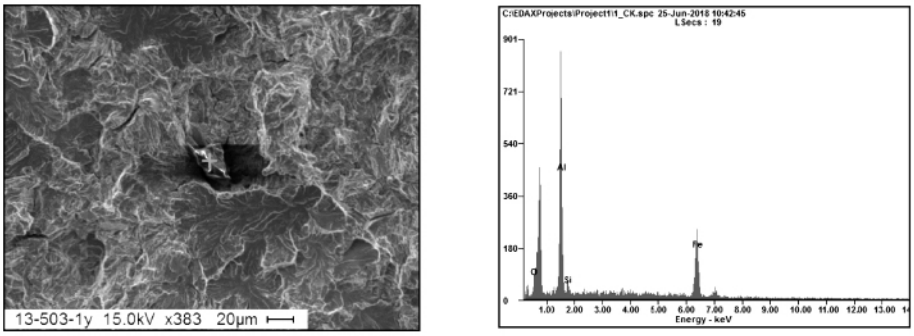


图3 $SiO_2-Al_2O_3$ 相夹杂物形态及能谱

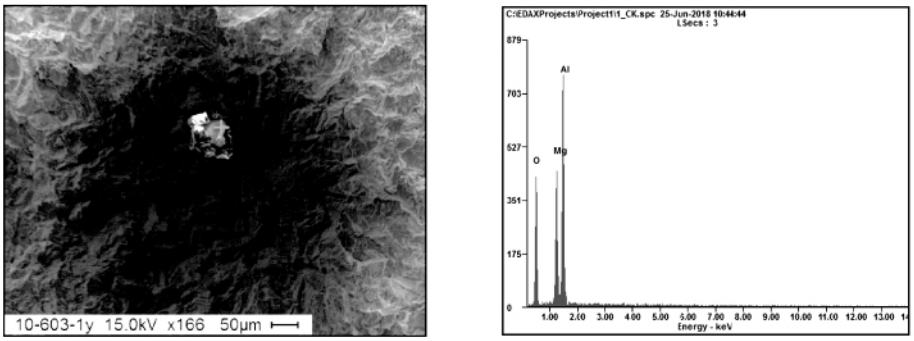


图4 $MgO-Al_2O_3$ 相夹杂物形态及能谱

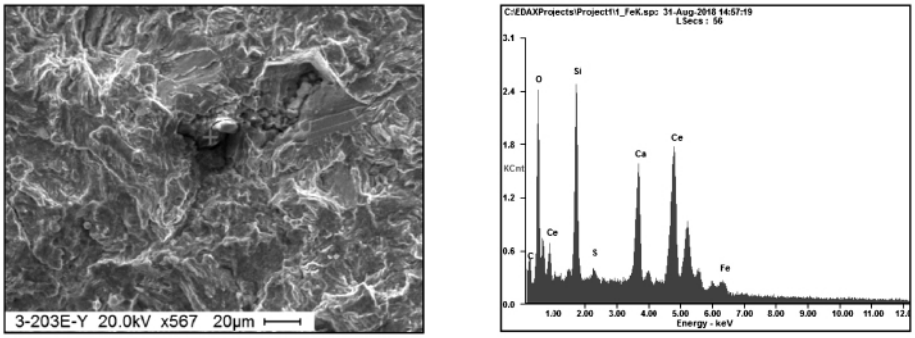


图5 $SiO_2-MgO-Al_2O_3-CaO$ 复合相夹杂物相夹杂物形态及能谱

图6显示出2#试验钢加入稀土后夹杂物形貌及能谱，夹杂物为 $SiO_2-MgO-Al_2O_3-CaO$ 复合相夹杂物，中间呈球形，色泽明亮为稀土铈。可以看出，稀土包裹在夹杂物外层，使夹杂物球化，减少尖状夹杂物导致的应力集中，有利于基体韧窝的形成，提高钢的冲击性能，因此添加稀土元素的试验钢冲击韧性要好[5]。图7为 Al_2O_3 夹杂物，稀土使夹杂物弥散成细小颗粒夹杂物，减弱对基体的损伤，提高钢材塑性。

钢中加入一定量稀土后，这些夹杂物全部或者部分变性、改质，沿轧制方向尖状、长条形态夹杂物变为弥散分布的小球状细小夹杂物[6]，弱化了原有夹杂物对基体带来危害，这些细小的夹杂物存在于韧窝中，有利于韧窝的形成，提高了钢材的冲击性能。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

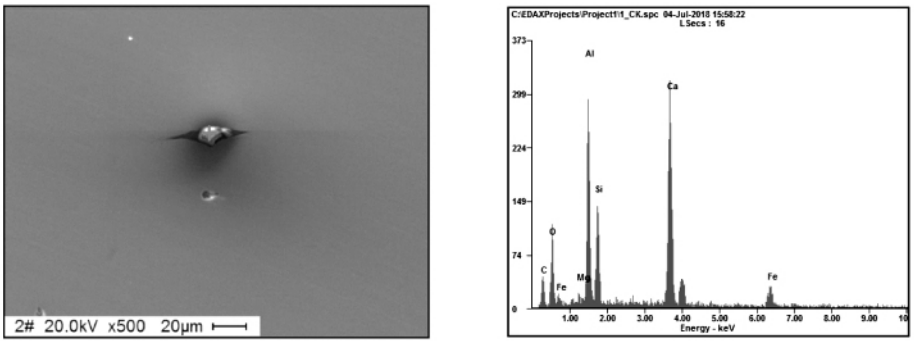


图 6　RE – SiO_2 – MgO – Al_2O_3 – CaO 复合相夹杂物相夹杂物形态及能谱

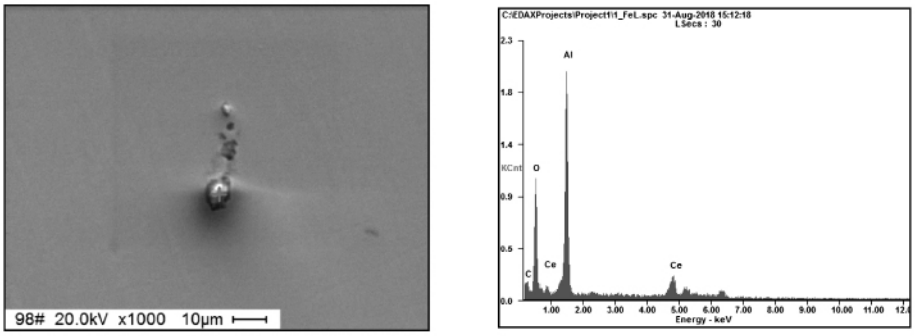


图 7　Al_2O_3 复合相夹杂物相夹杂物形态及能谱

3　结论

(1) 含一定量稀土的钢样,低温冲击韧性高于未加稀土的钢样, –40 ℃冲击值比不加稀土的实验钢高出 1 倍,

(2) 钢加入稀土后,稀土元素不仅可以有效的破坏横向的长条硫化物,而且可有效变质脆性氧化物夹杂。稀土夹杂物主要以球状或近似球状的形态存在,大小为 10 ~ 20 μm,使得具有尖角 SiO_2 – Al_2O_3、SiO_2 – MgO – Al_2O_3 – CaO 复合相夹杂物减少,促进了低温韧性的改善。

参　考　文　献

[1] 陈希颖,夏国金,武国琴,等. 加速发展我国稀土在钢中应用研究 [J]. 稀土,2003,24(5):7 –9.

[2] 林勤,宋波,郭兴敏,等. 钢中稀土微合金化作用与应用前景 [J]. 稀土, 2001, 22(4): 31 –36.

[3] 王龙妹,杜挺,卢先利,等. 微量稀土元素在钢中的作用及应用研究 [J]. 稀土,2001,22(4): 37 –40.

[4] 邱巨峰. 稀土在晶界存在形式及其对晶界状态的影响 [J]. 稀土,1983,(4): 58 –68.

[5] Lundin R, WilsonJ. R. Rare Earth metals [J]. Advanced Materials and Processes, 2000, 158 (1): 52 –55.

[6] 峨景文. 用稀土发展 21 世纪的重要途径 [J]. 稀土,2001,22(4): 7 –25.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net